

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2016.16.3.73>

IIBC 2016-3-10

제주 정낭(錠木) 채널 Code IV

Jeju Jong-Nang Channel Code IV

박주용*, 김정수**, 이문호***

Ju-Yong Park*, Jeong-Su Kim**, Moon-Ho Lee***

요약 “제주 정낭 Code I, II, III”에서는 배경과 역사 그리고 물리적 의미에 대해 알아보았다. “제주 정낭 Code II” 논문에서는 디지털휴먼 이진 코드인 한국의 제주도 전통에서 나무문으로 쓰인 정낭 정보통신의 뿌리를 소개하면서 AWGN 모델과 비슷한 정낭 결정 채널 모델을 조사하고, 채널 용량 분석에 접근하는 결정적 모델을 발견을 목표로 했다. 정낭 정보통신은 가족의 행방을 전달 위해 세 구멍으로 두 수직 돌에 3개의 서까래를 놓은 것으로 결정적인 신호였다. 본 논문에서는 선형 결정적 (linear deterministic) 신호에 대해 근사적(approximately)으로 결정적 신호처리의 채널 용량을 구한다.

Abstract We had introduced the backgrounds, history and physical meanings of Jong Nang in “Jeju Jong Nang Channel Code I, II and III”. In “Jeju Jong Nang Channel Code II” paper, we have introduced practical the root of digital human binary coded Jong Nang communications as the wooden gate in Korea Jeju Island custom and investigated Jong Nang gatemodels as an approximation of the AWGN model. The objective was to find a deterministic model, which was accessible to analysis the capacity. Jong Nang communications mean the normal 3 rafters placed on two vertical stones with three holes to convey the family’s whereabouts that is deterministic signal. In this paper we find the capacity of deterministic signal processing about the linear deterministic signals approximately.

Key Words : Shannon Gauss channel, Approach linear-deterministic to channel capacity.

I. 서론

제주도 마을에 있는 나무로 된 대문인 정낭(Jong Nang)은 가족의 행방을 전달하기 위해 정주목(3개의 구멍을 가진 2개 큰 돌기둥)에 걸린 3개의 나무로 된 서까래를 사용한다. 제주도 사람들의 지혜의 산물인 정낭은 제주지역 문화의 독특한 관습에서 나온 것이다. 제주도의 집에는 대문이 없기 때문에 마당에 널려 있는 날래(날

미: 제주 방언)인 보리나 조 등 곡식을 소나 말이 들어와서 먹지 못하도록 나무를 걸쳐 놓다가 나중에는 집 안에 사람이 있는지 없는지를 외부에 알리는 정보 표현 기능까지 겸하게 된 것이다[1~6, 13~15].

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 정낭: 디지털 통신원리에 대해 서술하고, III장에서는 가우스 통신로에 대해 서술한다. IV장에서는 Shannon의 가우스통신로에 근접하는 선형-결정 접근과 V장에서 시뮬레이

*정회원, 신경대학교 ICT융합학과

**정회원, 숭실사이버대학교 컴퓨터정보통신학과

***정회원, 전북대학교 전자정보공학부(교신저자)

접수일자 : 2015년 10월 22일, 수정완료 : 2016년 5월 18일

게재확정일자 : 2016년 6월 10일

Received: 22 October, 2016 / Revised: 18 May, 2016 /

Accepted: 10 June, 2016

***Corresponding Author: moonho@jbnu.ac.kr

Dept: Division of Electronic Engineering, Chonbuk National University, Korea

선 및 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 정낭 : 디지털 통신원리

정낭은 디지털 통신 및 오늘날의 컴퓨터와 유사한 이진법을 이용했다. 3개의 나무로 된 서까래는 3개의 2진 숫자와 유사했다. 정낭 정보는 2^3 개까지 상이한 정보를 전달할 수 있다. 정낭 3개 중에 하나만 걸쳐 있으면 “100”으로 집 안에 사람이 없지만 이웃에 잠깐 갔다가 곧 돌아온다는 것을 나타낸다. 2개의 정낭이 걸쳐 있으면 “101”로 이웃 마을에 가 있어 시간이 좀 걸린다는 뜻이다.



(a) 3개의 정낭 열림 (000)



(b) 3개의 정낭 닫힘 (111)



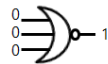
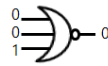
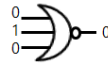


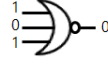
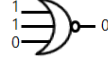

(c) 2개의 정낭 닫힘 (011)

그림 1. 제주 정낭과 마코브

Fig. 1. Korea Jeju Jong Nang and Its Markov.

표 1. 정낭의 이진수 및 NOR회로 비교

Table 1. The Comparison of binary number and NOR circuit in the Jong Nang.

2진수	NOR 회로	비고
000		집주인이 집에 있음
001		잠시 외출 중
010		잠시 외출 중
011		두 세 시간 외출 중
100		잠시 외출 중
101		두 세 시간 외출 중
110		두 세 시간 외출 중
111		장시간 외출 중

3개의 정낭이 모두 걸쳐 있으면 그림 1에서 보여주는 것과 같이 “111”로 먼 곳에 출타 중이란 내용이다. 정낭이 아무것도 걸쳐 있지 않으면 그림 1에서 보여주는 것처럼 “000”으로 집 안에 사람이 있다는 표시이다. 이 시스템은 제주도 사람들의 생활에서 유래 되었다. 표 1은 정

낭 메시지와 집주인의 유무를 알려준다. 정낭 분석^[6]은 실질적인 결정적 방식의 한 종류이다. Tse 등과 Gamal 등은 가우스 채널을 가진 결정적 모델에 대해 많은 연구 논문을 발표했다[1~6, 8~17].

표 1은 3개의 서가래의 조합을 3-NOR회로로 표시하고 그 의미를 나타낸다. 3-NOR회로의 출력이 1이면 집에 주인이 있고 0이면 부재중임을 나타낸다.

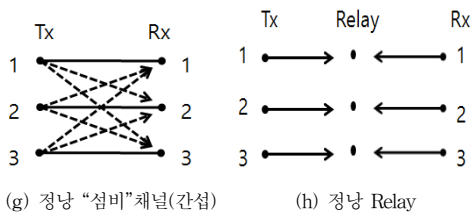
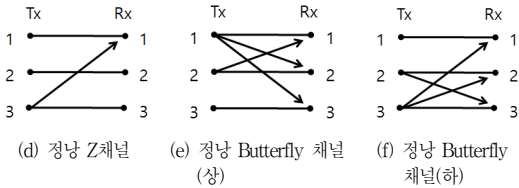
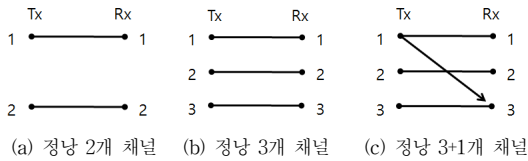
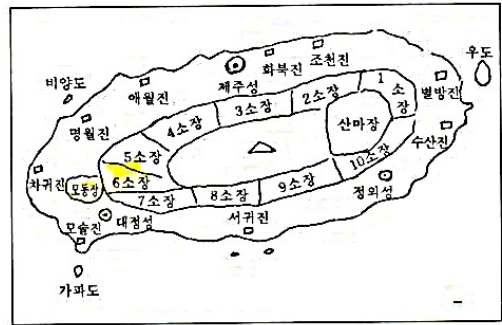


그림 2. 정낭 채널의 변천 : 2개 정낭에서 9개 정낭 “섬비” 로
 Fig. 2. Transition of Jong Nang channel : From 2 Jong Nangs to 9 “Seombi” .

*그림 (a) 에 대한 간섭 채널의 설명은 부록에 설명되어 있음.

그림 2 는 제주 정낭 (錠木 : 1429년 이씨조선 세종 11년 高得宗 한성부 참판 현 서울시장이 발명한 것으로 추측. 이문호의 “天地人의 錠木 3個 : 世界로 門(window)을 열다” 문화자원론과 지역학, 제주 발전연구원 제 4회 제주학 국제 학술 심포지엄, 2015. 10. 2, 제주 칼 호텔 발표 논문에서 인용) 변천도이다. 즉 처음에는 정낭 2개를 설치하여 소나 말의 집 또는 한라산 목장에서 마을로 들어 오지 못하게 했는데, 송아지나 땅아지가 정낭사이로 들어오게 됨으로 사이사이에 정낭을 가로질러 설치했다. 오늘날 interference channel과 같다.



△ 목장도

그림 3. 제주 10 所場 목장
 Fig. 3. Jeju 10 section postures.

그림 3은 高得宗이 제안한 제주 10 所場 목장도이다. 당시에 소나 말들을 한라산 중산간 지역으로 layer를 만들어 키울 것을 제안하면서 錠木이 설치됐다고 본다.

III. Shannon의 가우스 통신로

그림 4에서 수신 표본치 y 는 송신 표본치 x 와 잡음 표본치 가우스 (Gauss) 분포 잡음 z 의 합이다^[7~12, 16~17].

$$y = x + z \quad (1)$$

이때 z 의 확률은 다음과 같이 주어지고,

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_z^2}} e^{-\frac{z^2}{2\sigma_z^2}} \quad (2)$$

x 와 z 는 통계적으로 독립이다.

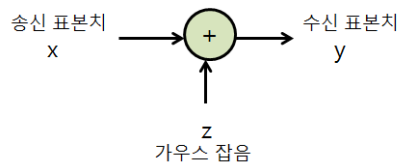


그림 4. Shannon 가우스 채널
 Fig. 4. Shannon of Gauss channel.

지금 \mathbf{x} 의 가우스 분포는 다음과 같이 나타낼 수 있으며,

$$p(\mathbf{x}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}} \quad (3)$$

\mathbf{y} 의 분포도 가우스 분포가 되어 그 분산 σ_y^2 은

$$\sigma_y^2 = \sigma_x^2 + \sigma_z^2 \quad (4)$$

이고, 이때

$$H(\mathbf{y}) = \log_2 \sqrt{2\pi e(\sigma_x^2 + \sigma_z^2)} \quad (5)$$

$$H(\mathbf{y}|\mathbf{x}) = H(\mathbf{z}) = \log_2 \sqrt{2\pi e\sigma_z^2} \quad (6)$$

이다. 그런데

$$I(\mathbf{x}; \mathbf{y}) = \frac{1}{2} \log_2 \frac{\sigma_x^2 + \sigma_z^2}{\sigma_z^2} \quad (7)$$

이다. 따라서

$$C = \text{Max } I(\mathbf{x}; \mathbf{y}) = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{P}{N}\right) = \frac{1}{2} \log_2 (1 + P) \Big|_{N=1} \quad (8)$$

IV. Shannon의 가우스통신로에 근접하는 선형-결정 접근

제주 정낭은 그림 1(b)에 보인 바와 같이 집 주인이 없을 때는 정낭 3개가 모두 닫혀있다. 정낭 채널은 균일 확률분포로 확률이 $(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3})$ 이 되며, 결정채널로 채널용량은 1이다.

Two way relay 채널

Forward 계산 rate는 $2n = 2 \left[\frac{1}{2} \log_2 P \right] = \log_2 P$ 과 같

이 계산할 수 있고, network coding rate은

$\frac{1}{2} \log [1 + 2P]$ 와 같이 계산된다^[7,10].

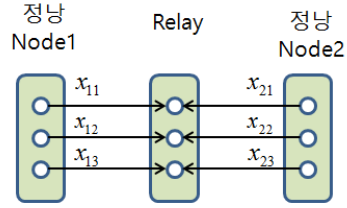


그림 5. Uplink : MAC, $n_1 = n_2 = n = 4$

Fig. 5. Uplink : MAC, $n_1 = n_2 = n = 4$.

그림 5의 Uplink는 $n_1 = n_2 = n = 4$ 인 MAC (multiple access channel)이고, 노드 i 는 $\mathbf{x}_i \in \mathbf{F}_2^q$ 를 송신하며, relay는 $\mathbf{S}_2^{q-n} \mathbf{x}_1 \oplus \mathbf{S}_2^{q-n} \mathbf{x}_2$ 를 수신한다. 만약 $\max\{R_1, R_2\} \leq n$ (send on the MSB) 조건을 만족하면 $\mathbf{x}_1 \oplus \mathbf{x}_2$ 를 디코드 할 수 있다. 따라서 $(R_1, R_2) \leq n = \frac{1}{2} \log_2(P)$ 가 성립한다.

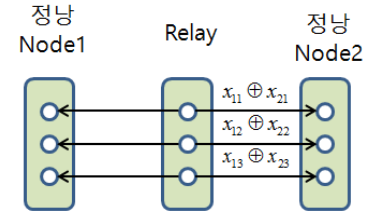


그림 6. Downlink : BC(broadcasting channel), $n_1 = n_2 = n = 4$

Fig. 6. Downlink : BC, $n_1 = n_2 = n = 4$.

그림 6의 Downlink는 $n_1 = n_2 = n = 4$ 인 BC(broadcasting channel)이고, rate가 $R_r = \max\{R_1, R_2\}$ 인 relay는 $\mathbf{x}_r = \mathbf{x}_1 \oplus \mathbf{x}_2$ 을 송신한다. 노드 i 는 $\mathbf{S}_2^{q-n} \mathbf{x}_r$ 을 수신한다. 만약 $R_r \leq n$ (send on the MSB)의 조건이 만족되면 \mathbf{x}_r 을 디코드 할 수 있다.

한편 입력 \mathbf{X} 와 \mathbf{Z} 가 unit power 이면 출력은 다음과 같다.

$$\mathbf{y} = \sqrt{P} \mathbf{x} + \mathbf{z} \quad (9)$$

2 진법으로 표시하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \mathbf{y} &= 2^{\frac{1}{2} \log_2(P)} \sum_{i=-\infty}^{\infty} \mathbf{x}_i 2^{-i} + \sum_{i=-\infty}^{\infty} \mathbf{z}_i 2^{-i} \\ &\approx 2^{\frac{1}{2} \log_2(P)} \sum_{i=1}^{\infty} \mathbf{x}_i 2^{-i} + \sum_{i=-\infty}^{\infty} \mathbf{z}_i 2^{-i} \quad \text{if } |\mathbf{x}| \leq 1 \\ &\approx 2^{\frac{1}{2} \log_2(P)} \sum_{i=1}^{\infty} \mathbf{x}_i 2^{-i} + \sum_{i=-\infty}^{\infty} \mathbf{z}_i 2^{-i} \quad \text{if } |\mathbf{x}| < 1 \\ &\approx 2^n \sum_{i=1}^{\infty} \mathbf{x}_i 2^{-i} + \sum_{i=1}^{\infty} (\mathbf{x}_{i+n} + \mathbf{x}_i) 2^{-i} \quad n \lfloor \frac{1}{2} \log_2(P) \rfloor \\ &= 2^n \sum_{i=1}^n \mathbf{x}_i 2^{-i} + \sum_{i=1}^{\infty} (\mathbf{x}_{i+n} + \mathbf{x}_i) 2^{-i} \end{aligned} \quad (10)$$

여기서

$$\mathbf{y} \approx \underbrace{2^n \sum_{i=1}^n \mathbf{x}_i 2^{-i}}_{\text{noiseless bit}} + \underbrace{\sum_{i=1}^{\infty} (\mathbf{x}_{i+n} + \mathbf{x}_i) 2^{-i}}_{\text{noisy bits}} \quad (11)$$

잡음 비트를 무시하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{y} \approx 2^n \sum_{i=1}^n \mathbf{x}_i 2^{-i} \quad (12)$$

채널은 식 (14)와 같이 n bit-pipe로 모델링 할 수 있다. 따라서 채널은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C \approx n = \left\lfloor \frac{1}{2} \log_2(P) \right\rfloor \quad (13)$$

가우시안 P2P (point to point)는 입력과 출력이 각각 $\mathbf{x} = [x_1, x_1, \dots, x_q]^T$, $\mathbf{y} = \mathbf{S}^{q-n} \mathbf{x}$ 인 2진 채널로 근사화 될 수 있다. 이때 $q \geq n = \left\lfloor \frac{1}{2} \log_2(P) \right\rfloor$ 와 $\mathbf{S} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \mathbf{I} & 0 \end{bmatrix}$ 은 그림 7에서처럼 down-ward shift 행렬이다. $q = 3, n = 1$ 인 경우, $\mathbf{y}_2 = \mathbf{S}^{3-1} \mathbf{x}_2 =$

$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ 0 \end{bmatrix}$. 이 \mathbf{y}_2 는 수신단 두 번째 정량 hole에 얹힌다.

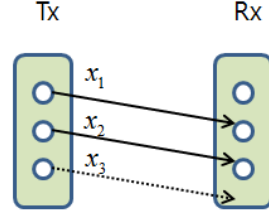


그림 7. 수신단 1 bit stepdown 채널
 Fig. 7. 1 bit stepdown channel of receive unit.

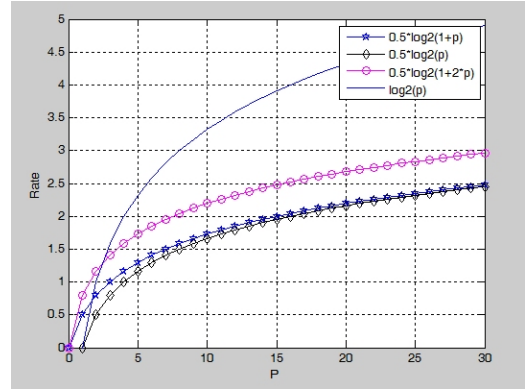


그림 8. Two way relay($\log_2 P$), uplink MAC, 및 stepdown 채널 Rate 비교
 Fig. 8. Comparison of two way relay($\log_2 P$), uplink MAC and stepdown channel rates.

V. 시뮬레이션

Shannon이 P2P 가우시안 채널 용량 (8)식과 선형 결정 정량 채널의 근접함을 수식적으로 확인하였고, 그림 8에 시뮬레이션으로 보였다. 이 때 신호가 high power 일 때는 two way relay 즉 $\log_2 P$ 가 가장 높았고, Shannon의 P2P가 낮은 값을 보였다. 신호전력 P가 20일 때, Two way relay가 rate 4.5에 근접한 반면, 다른 network coding rate는 3에 근접했다.

VI. 결 론

[14]에서 정낭의 결정적 채널 모델은 무선통신 네트워크의 용량을 근사화 하고 전송방법을 설계하는데 이용될 수 있다. 제주도 특유의 정주목에 올려진 세 개의 서까래를 사용하여 가족의 부재여부와 현재의 위치의 원근을 표시해주는 정낭의 capacity를 보였다. 이 간섭 디코딩 inner bound가 어떤 특별히 강한 간섭 조건하에서 tight 했다. 또한 이 inner bound는 간섭을 잡음처럼 처리함으로써 얻어지는 inner bound를 포함하고 있음을 강하게 나타 내었고, 결정적 채널에 대한 간섭할당을 포함하고 있었다. 본 논문에서는 윗 정낭이 수신단 한 비트 아래로 떨어지는(step down) 채널을 가정하여 채널 용량을 구했다. 즉 Shannon 채널 용량은 식 (8)로 표시되는데 반해 step down 정낭 채널인 경우는 식 (13)가 근사화됨을 보였다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법은 Backhaul 통신 multiway relay 채널 등에 이용될 수 있다.

References

- [1] M. H. Lee, "Jong Nang", *EXPO '93 Information & Telecom*, Pavilion poster , 1993.
- [2] M. H. Lee, *The History of Information and Communication*, Kimyeong-Sa, Seoul, 1994.
- [3] M. H. Lee, "Jong Nang: The symbol of digital communication and Ying and Yang," *Telecom*, vol. 9, no. 1, 1993.
- [4] M. H. Lee, "Jong Nang System," *Patent*, no. 133285, Korea ,1998.
- [5] M. H. Lee, "The History of Jeju Jong Nang Binary Code," *IEEE VTS News*, vol. 50, no. 1, 2003.
- [6] M. H. Lee, X. Jiang, C.H. Choe, S. H. Kim, "Analysis of Jong Nang Multiple Access Channel," *ISITA 2006*, Seoul, Korea, 2006.
- [7] T. M. Cover, J. A. Thomas, *Elements of Information Theory*, John Wiley & Sons, New York, 1991.
- [8] C. E. Shannon, "A Mathematical Theory of Communication," *Bell System Technical Journal*, vol. 27, pp. 379-423 and 623-656 , 1948.
- [9] N. Schrammar, "On Deterministic Models for Wireless Networks," *Licentiate Thesis in Telecommunications Stockholm*, Sweden 2011.
- [10] A. Salman, D. Suhas, D. Tse, "A Deterministic Approaches to Wireless Relay Networks", *ISIT2007*, 2007.
- [11] C. Suh, D. Tse, "Symmetric Feedback Capacity of the Gaussian Interference
- [11] A. El Gamal, Y. H. Kim, *Network Information Theory*, Cambridge University Press, 2011.
- [12] B. Bandemer, A El Gamal, "Interference Decoding for Deterministic Channels," *IEEE Trans. Information Theory*, vol. 57, no. 5, May 2011.
- [13] Moon Ho Lee, "Jeju Jong Nang Channel Code I," *Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 49, no. 12, pp.27-35, December 2012.
- [14] Moon Ho Lee, Md. Hashem Ali Khan and Ju Yong Park, "Jeju Jong Nang Channel Code II," *Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 49, no. 12, pp.36-44, December 2012.
- [15] Ju Yong Park, Jeong Su Kim and Moon Ho Lee, "Jeju Jong-Nang Channel Code III," *The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC)*, Vol. 12, No. 5, October 2015.
- [16] Salman Avestimehr, Suhas Diggavi, David Tse, "Wireless Network Information Flow: A Deterministic Approach," *IEEE Trans. on Information Theory*, vol. 57, no.4, April 2011.
- [17] A. Chaaban, A. Sezgin, "On the Generalized Degrees of Freedom of the Gaussian Interference Relay Channel," *IEEE Trans. on Information Theory*, vol. 58, no.7, July 2012.
- [18] Jae Seung Yang, Ju Yong Park and Moon Ho Lee, "Jacket Matrix in Hyperbola," *The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC)*, Vol. 15, No. 3, June 2015.

부 록

그림 2. (a) Degree of freedom(DoF)

그림 2(a)의 간섭채널은 그림 9와 같이 설명될 수 있다.

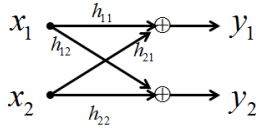


그림 9. 정낭 BSC(binary symmetric channel) 간섭 채널
 Fig. 9. Jong Nang BSC(binary symmetric channel) Interference channel.

1948년 Shannon은 가산성 백색 가우시안 잡음(AWGN : Additive White Gaussian Noise)이 존재하는 점 대 점 통신(point-to-point communication)에서 랜덤 코드북으로 생성한 부호를 이용하여 (14)의 채널 용량 달성을 증명하였다^[7].

$$C = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (14)$$

가산성 백색 가우시안 채널의 용량과 DoF는 (15), (16)과 같다.

$$C_{AWGN} = \log_2(1 + SNR) \quad (15)$$

$$DoF = \lim_{SNR \rightarrow \infty} \frac{C}{\log_2(SNR)} = 1 \quad (16)$$

직교화(Orthogonalizing)를 통한 채널 용량은

$$\sum_{i=1}^k R_i = \log_2 \left(1 + \frac{\sum_{i=1}^k P_i}{N} \right) \quad (17)$$

두 명의 사용자가 존재하는 채널에서의 채널 용량은

$$\sum_{i=1}^2 R_i = \log_2 \left(1 + \frac{\sum_{i=1}^2 P_i}{N} \right),$$

$$2R = \log_2 \left(1 + 2 \frac{P}{N} \right) = \log_2(1 + 2SNR) \quad (18)$$

따라서,

$$R = \frac{1}{2} \log_2(1 + 2SNR) \quad (19)$$

그리고,

$$DoF = \lim_{SNR \rightarrow \infty} \frac{R}{\log_2(2SNR)} \approx \frac{1}{2} \frac{\log_2(1 + 2SNR)}{\log_2(2SNR)} \approx \frac{1}{2} \quad (20)$$

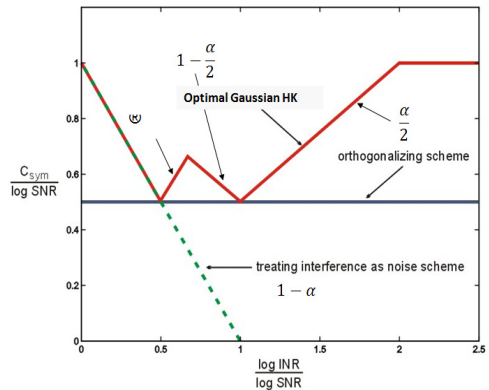


그림 10. α 의 값에 따른 DoF
 Fig. 10. Plot of DoF for α .

간섭 대 잡음 비(INR : Interference to Noise Ratio)와 신호 대 잡음 비(SNR:Signal to Noise Ratio)을 증가시키되, 그 비율(α)을 고정시키고, 간섭을 잡음으로 간주하여, $\alpha = \frac{\log_2 INR}{\log_2 SNR}$ 라 가정하면, 전송 용량은 다음 식과 같고,

$$R = \log_2 \left(1 + \frac{SNR}{1 + INR} \right) \quad (21)$$

DoF는 식 (20)과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{DoF} &= \lim_{\text{SNR} \rightarrow \infty} \frac{R}{\log_2\left(\frac{\text{SNR}}{1 + \text{INR}}\right)} \\
 &= \frac{\log_2\left(1 + \frac{\text{SNR}}{\text{INR}}\right)}{\log_2(\text{SNR})} \approx \frac{\log_2\left(\frac{\text{SNR}}{\text{INR}}\right)}{\log_2(\text{SNR})} \\
 &= \frac{\log_2(\text{SNR}) - \log_2(\text{INR})}{\log_2(\text{SNR})} \\
 &= 1 - \frac{\log_2(\text{INR})}{\log_2(\text{SNR})} = 1 - \alpha
 \end{aligned} \tag{22}$$

α 의 값에 따른 DoF를 그래프로 나타내면, 그림 10과 같다.

그림 10에서 y축 0.5 orthogonal의 경우, x축 1 보다 낮은 경우는 간섭이 작은 경우이고, 1보다 큰 경우는 간섭이 큰 경우이다. DoF는 2개 이상의 간섭 채널에서 채널 용량을 구할 때 사용된다. 정낭에서는 정낭 2개를 수평으로 설치했을 경우 송아지나 망아지는 정낭사이로 들어갈 수 있다. 그사이 X자로 정낭을 놓아 진입을 방지하고 있으며, 송아지나 망아지 쪽에서는 이 진입 방지가 방해 간섭 신호임이 분명하다.

저자 소개

박 주 용(정회원)



- 1994년 : 전북대학교 전자공학과 박사
- 1991년~2007년 : 서남대학교 전기전자공학과 교수
- 2007년 3월~현재 : 신경대학교 ICT 융합학과 교수

<주관심분야 : 무선이동통신, 통신이론>

김 정 수(정회원)



- 1998년 : 전북대학교 정보통신공학과 석사
- 2003년 : 전북대학교 컴퓨터공학과 박사 졸업.
- 2002년 6월 ~ 현재 : 숭실사이버대학교 컴퓨터정보통신학과 부교수
<주관심분야 : 이동통신>

이 문 호(정회원) 교신저자



- 1984년 : 전남대학교 전기공학과 박사, 통신기술사
- 1985년~1986년 : 미국 미네소타 대학 전기과 포스트닥터
- 1990년 : 일본동경대학 정보통신공학과 박사
- 1970년~1980년 : 남양MBC 송신소장
- 1980년 10월~2010년 2월 : 전북대학교 전자공학부 교수
- 2010년 2월~2013 : WCU-2 연구책임교수
- 2015년 : 국가연구개발 우수성과 100선
- 현재 : 전북대학교 전자공학부 초빙교수
<주관심분야 : 무선이동통신>

※ This work was supported by MEST, 2015R1A2A1A05000977, NRF, Korea.